

地下连续墙硬岩成槽的钻铣组合工法探讨

贾学强, 苏 陈, 朱 娜

(徐州徐工基础工程机械有限公司, 江苏 徐州 221001)

摘要:介绍了双轮铣槽机的应用背景以及工作原理,针对双轮铣在地下连续墙硬岩成槽过程中出现的问题,分析了现阶段对纯铣法认识的误区以及硬岩工况采用纯铣法的局限性,硬岩工况下采用纯铣施工并不能充分发挥双轮铣这种设备的技术优势,提出了一种应用于硬岩成槽的钻铣组合工法,分析了这种组合作业工法的优点,并从引孔方法选择、引孔布置、孔径选择出发,基于平行作业的原则,介绍了组合工法的关键环节“钻”的实施方法,提出了适用于不同直径、不同岩石强度、采用不同钻孔设备的三种钻孔布置方法,并结合具体施工案例,对该工法的实际应用以及所取得的有益效果予以证实。最后阐述了“钻”“铣”两种作业方式的配合关系。

关键词:地下连续墙;硬岩成槽;双轮铣槽机;引孔;钻铣组合工法

中图分类号:TU476+.3 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2023)02-0114-06

Combination of drilling and milling for underground diaphragm wall trench construction in hard rock

JIA Xueqiang, SU Chen, ZHU Na

(Xuzhou Xugong Foundation Construction Machinery Co., Ltd., Xuzhou Jiangsu 221001, China)

Abstract: This paper briefly introduces the application background and working principle of the double wheel milling trench cutter. In view of the problem happened in the process of underground diaphragm wall trench in hard rocks using double wheel milling, this paper analyzes the misunderstanding of the mere milling method at the present stage, and the disadvantages of the pure milling method in the hard rock working condition, concludes that mere milling in hard rock can not give full play to the core advantages of the double wheel milling cutter, and then puts forward a drilling and milling combination method applied to trenching in hard rock. The advantages of the combined construction method are analyzed, and based on the principle of parallel operation, the key step of the construction method “drilling” is emphatically introduced from the selection of the guide hole construction method, the guide hole arrangement and the hole diameter selection. Three kinds of drilling arrangement methods suitable for different diameters, different rock strengths and different drilling equipment are proposed. In regard to the relevant cases, the practical application of the construction method and the benefits achieved are verified and explained. In the end, it expounds the purposes of “drilling” and “milling”, and defines the primary and secondary relationship between them.

Key words: underground diaphragm wall; trench in hard rocks; double wheel milling; guide hole; drilling and milling combination method

0 引言

随着国内地下连续墙施工技术不断发展,由最早的正反循环钻进成槽、冲击钻成槽等传统方法,

逐步发展为冲抓成槽、铣削成槽。在土层应用的冲抓成槽法已经得到广泛普及,而铣槽法作为一种可在硬岩地层成槽的施工方法,其拥有技术含量高、

收稿日期:2022-07-02; 修回日期:2022-11-24 DOI:10.12143/j.ztgc.2023.02.016

第一作者:贾学强,男,汉族,1991年生,工程师,勘查技术与工程专业,从事旋挖钻机施工工法研究工作,江苏省徐州市经济开发区驮蓝山路36号,761660802@qq.com.

引用格式:贾学强,苏陈,朱娜.地下连续墙硬岩成槽的钻铣组合工法探讨[J].钻探工程,2023,50(2):114-119.

JIA Xueqiang, SU Chen, ZHU Na. Combination of drilling and milling for underground diaphragm wall trench construction in hard rock [J]. Drilling Engineering, 2023, 50(2): 114-119.

成槽质量好、环境友好的优点,但是受到双轮铣槽机设备成本、使用成本的限制一直未得到广泛应用。随着双轮铣设备逐步国产化,铣槽法的施工成本也在大幅降低,越来越多的企业开始采用双轮铣施工,但是在应用过程中,发现双轮铣的施工效率、经济性并不如预期。通过与相关企业交流以及国内重大工程的文献资料分析发现,出现这种问题的主要原因还是对双轮铣工法的技术优势认知不足以及没有针对具体项目特征找到科学合理的使用方法。为了消除误区,提高双轮铣工法的施工效率,本文结合国产双轮铣的具体施工案例,提出硬岩工况下^[1]钻铣组合工法,并进行实际应用研究。

1 铣槽工法

1.1 工法原理

双轮铣槽机设备的成槽原理是通过液压系统驱动刀架下部两个铣轮转动,从而切削、破碎地层,采用泵吸或者气举反循环出渣,从而实现持续钻进获得进尺,如此往复,直至达到设计成槽深度。

1.2 硬岩纯铣法的误区

双轮铣作为一种成槽设备,自20世纪90年代引入中国以来,因其价格昂贵,一直为一些大型施工企业所独有。在一些诸如水利建设、地铁建设以及跨江大桥锚碇之类的国家重大工程得到应用。国内大部分施工企业对双轮铣设备的认知,也只是停留在表面,认为双轮铣是硬岩成槽的高效设备^[2]。

这种认知并非绝对片面,现阶段双轮铣的确是硬岩成槽领域的佼佼者,但这也只是概念上的认可,实际应用过程尚需成熟的施工工法来支撑。另外,双轮铣虽然已经国产化,但其设备一次性投入成本在基础施工领域仍属偏高,这就使得相关企业对先进设备的强大功能过于依赖,但却忽略了工法。事实上,单纯依靠双轮铣设备完全解决硬岩成槽问题是不太现实的,即使是拥有成熟经验及全进口设备的施工企业,硬岩施工时通常也不会采用纯铣法^[3]。

1.3 硬岩纯铣法的局限性

在硬岩铣削^[4]工况下,纯铣法的局限性主要表现在以下三个方面:

1.3.1 设备维护成本过高

双轮铣功能实现的一项关键技术是水下液压传动,这项技术的核心问题是水下密封。水下施工的隐蔽性,加之纯铣法硬岩工况下的负荷较大,导致施

工时对设备的维护保养相当重要^[5],相应成本也将大幅增加,对于进口设备更是突出。

1.3.2 经济效益不显著

与现阶段硬岩成槽通用的冲击成槽方式相比,即使采用纯铣法其成槽效率也有很大的提升。但是,双轮铣的使用成本与冲击钻成槽相比往往是一个数量级的差异。纯铣法效率的提高与施工成本的增加不成正比。

1.3.3 双轮铣的优势未凸显

双轮铣与目前常用的冲击成槽法^[6]相比,最大的优势是成槽质量好,并且可施工套铣接头。因此如果耗费大量时间和成本利用纯铣法来克服硬岩,就会得不偿失,没有充分利用设备资源,将双轮铣的最大优势发挥出来。

2 钻铣组合工法

为了充分发挥双轮铣的优势,针对硬岩地层纯铣法施工时铣槽设备损伤大、效率低、经济性差的问题^[7],推荐采用钻铣组合工法予以解决。

2.1 工法简介

钻铣组合工法是组合利用钻孔、铣槽设备的施工方法。在每一槽段铣槽作业前,利用平行作业时间在待铣位置先利用成孔设备施工多个先导孔(如图1),也称引孔,然后再使用铣槽设备成槽(如图2)。涉及钻孔设备为旋挖钻机、冲击钻机、潜孔钻机常规钻孔设备,所述铣槽设备为双轮铣槽机。

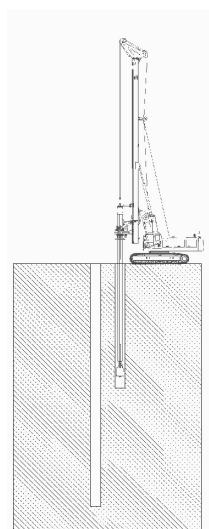


图1 成孔设备引孔

Fig.1 Guide hole drilling by drilling rig

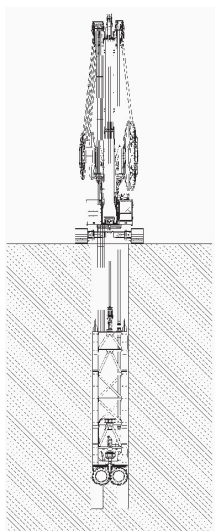


图2 铣槽设备成槽

Fig.2 Trench digging by the trench cutter

2.2 工法优势

实践表明,钻铣组合工法具有如下技术优势:

2.2.1 有效降低硬岩成槽设备损伤

现阶段硬岩钻孔工艺相当成熟,成孔设备基本为水下机械传动来进行破碎岩石,可靠性高,维护成本也较低^[8]。并且单元槽段经过引孔,岩石的状态发上变化,不仅铣削面积大幅降低,而且可以创造大量的破碎自由面^[9],双轮铣最终的成槽难度大幅减低,使用工况也得到极大改善,使用成本也相应减小。

2.2.2 平行作业大幅度提高整体施工效率

除首末幅槽段以外,其余槽段的成孔、铣槽作业均可同时进行,即为平行作业,利用平行作业不会额外增加施工时间,并且由于铣槽难度降低,双轮铣的施工效率也会大幅度提高,从而使得整体施工效率得到提升。

2.2.3 科学利用并充分发挥双轮铣的技术优势

通过平行作业,恶劣工况下的设备风险转移给性能更加可靠的成孔设备,双轮铣设备成槽质量好、套铣接头的优势能得到更好的发挥^[10]。

3 引孔方法

硬岩地层钻铣结合成槽时,最重要的环节应属引孔,虽然之前也有部分工程在应用,但对于是否需要引孔、引孔数量以及布置方式均没有系统的方法,这些限制了钻铣结合的优势发挥。

3.1 基本布置原则

不同的引孔方法,引孔数量不同,布置方式也不相同,其基本原则是保证铣槽设备成槽时,铣轮受力均匀。常见的引孔方式包括单铣单引孔、单铣双引孔以及蜂窝引孔^[4]。

根据应用经验,3种引孔方式可参考以下原则:

(1)当岩石强度在30~40 MPa之间,且成槽厚度 ≥ 1.0 m时,在2.8 m单铣位置施工1个引孔(图3),钻孔设备可选用冲击钻机或者旋挖钻机^[11],对于单元槽段第三铣1般施工1个引孔(图3);

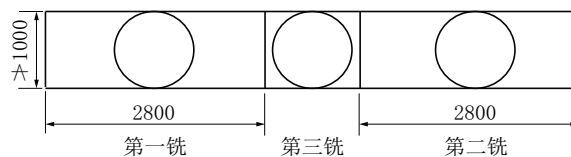


图3 单铣单引孔

Fig.3 One guide hole in one cut

(2)当岩石强度在30~40 MPa之间,成槽厚度 > 1.0 m时,在2.8 m单铣位置施工2个引孔(图4),钻孔设备可选用冲击钻机或者旋挖钻机;

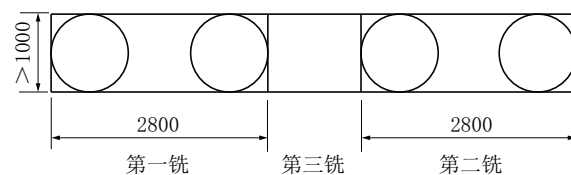


图4 单铣双引孔

Fig.4 Dual guide holes in one cut

(3)当岩石强度在40~60 MPa之间时,在2.8 m单铣位置施工2个引孔(图4),钻孔设备可选用冲击钻机或者旋挖钻机,通常在第三铣位置不再进行引孔;

(4)当岩石强度在60~100 Mpa时,可采用密集蜂窝引孔方式(如图5),钻孔设备选用潜孔钻机。

当然,考虑到岩石种类、风化程度的不同以及所

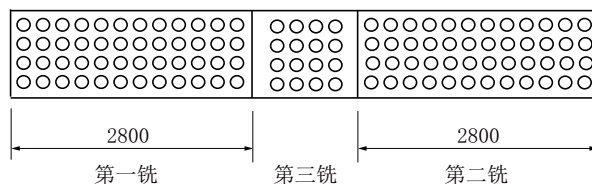


图5 单铣密排孔

Fig.5 Serried holes in one cut

选铣槽设备型号的大小,本节所述引孔布置原则在具体实践中还要因地制宜,根据具体施工项目进行调整优化^[12]。

3.2 引孔直径选择

现阶段单铣成槽长度通常为2.8 m,厚度一般在0.8~1.5 m之间,按上述原则进行引孔布置时,要考虑孔径的影响,过大的孔径影响引孔的施工效率,也不易于按照上述原则布置钻孔。综合考虑如下:

(1)引孔直径建议控制在0.8~1.2 m;

(2)成槽厚度为0.8~1.2 m的槽段,引孔时宜选用略小或等同直径厚度的槽孔;

(3)成槽厚度为1.2m~1.5 m的槽段,引孔时宜选用直径1.2 m的槽孔。

3.3 适用范围

硬岩地层成槽时,钻铣组合工法,无论是套铣接头时的一期槽段、二期槽段,还是常规接头形式的首开幅、连接幅以及闭合幅槽段,均可按照上述方式,来进行布置引孔。

3.4 平行作业原则

引孔的首要目的是提高硬岩成槽的施工效率^[5],因此引孔和铣槽需要遵循平行作业原则,即引孔与铣槽通过合理的调配,尽可能同时进行^[13]。为达到这一目标,需充分考虑到冲击成孔效率低下的因素,选择合适的钻孔设备及工艺,钻铣组合工艺最合适的设备选择是旋挖钻机与铣槽机配合。钻铣组合工法要实现完全平行作业,对设备投入、施工组织、资源调配以及施工方法都有较高的要求,并且需要一定时间的积累经验和探索,找到最优组合方式^[14]。

4 应用案例

4.1 工程概况

清云高速西江特大桥项目为汕湛高速公路重点控制工程,主桥采用双跨吊钢箱梁悬索桥,大桥北岸采用锚碇工程,为保证锚碇基坑顺利开挖,设计有地下连续墙工程。地连墙轴线直径为56 m,周长175.84 m,槽宽1.2 m。地层以素填土、粉质粘土、粉土以及风化程度不等的花岗岩层为主,入岩石深度6~10 m,以入中风化花岗岩2.4 m为设计槽深,平均槽深46 m左右。地连墙划分36个槽段,Ⅰ、Ⅱ期槽段各18个,交错布置,如图6所示。接头形式采用套铣接头,Ⅰ、Ⅱ期槽孔在地连墙轴线上的搭接长度

为250 mm。

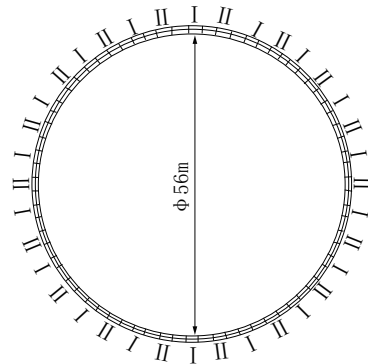


图6 连续墙槽段分幅

Fig.6 Trench panel division of the diaphragm wall

4.2 初步施工方案及存在的问题

初期施工方案为:Ⅰ期槽段上部素填土、粉质粘土、粉土及砾砂层用液压抓斗三抓成槽,下部岩层采用纯铣法,三铣成槽,边槽长2.8 m,中间槽段长2.0135 m,槽段共长7.6135 m;Ⅱ期槽段长2.8 m,上部土层使用抓斗清除,下部采用纯铣法,一铣成槽。施工设备为XTC80/55型铣槽机(见图7)



图7 XTC80/55型铣槽机现场施工

Fig.7 XTC80/55 milling trench cutter at work

施工方对铣槽设备第一次接触,对设备的整体性能不清楚,加之地质勘察资料对槽底岩石状态的描述与现场实际情况相差很大(设计槽底地层为中风化花岗岩,实际情况已经过渡到微风化岩层),导致岩层成槽采用纯铣法施工进尺速度很低,不足0.3 m/h,而且槽深几乎达到铣槽机的设计上限,设备负荷极大,在截齿大幅消耗的同时,设备的维护成

本也超出预期。

4.3 施工方案的改进

由于施工方使用双轮铣的主要目的是为了保证二期槽段混凝土套铣的顺利施工,在双轮铣正常施工一期过程中,发现进尺速度缓慢,且破碎出来的岩石强度较大,故经过现场施工技术人员的分析讨论,建议在二期槽段使用引孔来保证施工效率,并且降低使用成本。

4.3.1 冲击钻引孔

首先使用冲击钻进行引孔,在抓斗清除槽段内上部土层后,同时利用2台冲击钻机在二期槽段施工如图8所示的5个引孔。引孔后,双轮铣铣槽效率得到较大提升,速度可达0.5~0.6 m/h,并且截齿材料消耗也大幅降低,截齿损耗由原来的平均1.2~1.5个/m³下降至不足1个/m³,另外由于换齿频率的降低,设备的维护次数也相应降低。

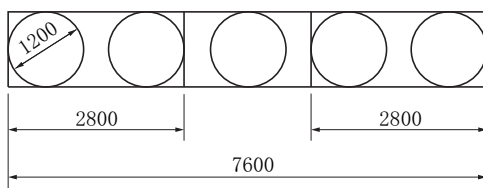


图8 引孔布置

Fig.8 Layout of the guide holes

冲击钻施工耗时较长,2台冲击钻施工5个引孔需要2天时间,但引孔后铣槽时间不足1天,虽然就铣槽设备而言,其施工消耗得到了降低,但是综合施工效率没有得到有效提升^[15]。

4.3.2 旋挖钻机引孔

从施工效率考虑,改用旋挖钻机进行引孔。相同工况下施工5个引孔单台旋挖钻机成孔时间不足1天,且双轮铣设备铣槽时间同样不足1天,完全可以实现平行作业的原则,即同时施工两个槽段,双轮铣铣槽与旋挖钻机引孔同时进行。这样不但可以降低施工消耗,并且可以提高整体施工效率,更好地发挥钻铣组合工法的优势^[16]。

5 结论

综上所述,钻铣结合工法,“钻”成为“铣”之前的关键环节,“钻”即引孔施工,其工作量在整个工艺流程中占有很大的比例。很多情况下,引孔工作显得更为重要,引孔的成孔质量、成孔效率将影响整个组

合工法的效果。而工法中另一工作“铣”,更多情况下其主要作用是最终成形,即形成设计的矩形槽段。虽然铣削作业通常情况下工作量相对较少,但毋庸置疑,无论是从套铣接头的设计要求出发,还是从保证高成槽质量的施工要求出发,“铣”是不可或缺且无法替代的最终工序。“钻”的本意是为了让“铣”更快、更好、更持久地发挥成形的作用,是为了让“铣”高质量成槽的同时,经济效益也更加明显。也就是说,钻铣组合工法,“钻”是高效优质铣削的前提,“铣”是最终目的。

参考文献(References):

- [1] 周智,许丹.双轮铣成槽机破岩基本原理及在极硬岩中施工工效分析[J].施工技术,2019,48(S1):1507-1509.
ZHOU Zhi, XU Dan. The analysis of rock breaking fundamental of hydraulic double wheel trench cutter and construction efficiency under extremely hard rock formation condition[J]. Construction Technology, 2019,48(S1):1507-1509.
- [2] 李万莉,刘祥勇,姜燕,等.液压双轮铣槽机铣削岩土受力的试验探究[J].振动与冲击,2016,35(19):119-124,161.
LI Wanli, LIU Xiangyong, JIANG Yan, et al. Cutting load tests of a hydraulic double-wheel trench cutter[J]. Journal of Vibration and Shock, 2016,35(19):119-124,161.
- [3] 刘加峰.双轮铣槽机在坚硬花岗岩地质条件下的地下连续墙施工应用[J].建筑施工,2016,38(2):193-195.
LIU Jiafeng. Dual-wheel trench milling machine applied to underground diaphragm wall under geological condition of hard granite[J]. Building Construction, 2016,38(2):193-195.
- [4] 陈志敏.双轮铣槽机锥形铣齿在复杂硬岩地层施工中的改进[J].建筑机械化,2016,37(2):63-65.
CHEN Zhimin. The improvement of trench cutters conical gear milling construction in complex hard rock ground[J]. Construction Mechanization, 2016,37(2):63-65.
- [5] 王力权,于智锋.液压抓斗和液压双轮铣槽机在防渗墙施工中的联合应用[J].水电与新能源,2014(10):24-28.
WANG Liqun, YU Zhifeng. Joint application of hydraulic grab and hydraulic cutter in construction of cut-off wall[J]. Hydro-power and New Energy, 2014(10):24-28.
- [6] 王联平.双轮铣槽机在深圳地铁地下连续墙施工中的应用[J].价值工程,2014,33(28):138-140.
WANG Lianping. Application of dual wheel milling machine in underground continuous wall construction of Shenzhen Metro[J]. Value Engineering, 2014,33(28):138-140.
- [7] 雷勇.嵌岩地下连续墙施工技术应用与探讨[J].铁道建筑技术,2014(2):60-63,76.
LEI Yong. Discussion on the application of socketed underground continuous wall[J]. Railway Construction Technology,

- 2014(2):60-63,76.
- [8] 冯晓峰. 液压双轮铣槽机在地下连续墙施工中的应用[J]. 公路交通技术, 2012(5):49-53.
- FENG Xiaofeng. Application of hydraulic double-wheel slot milling machine in construction of underground continuous walls [J]. Technology of Highway and Transport, 2012(5):49-53.
- [9] 杨奉举, 牛小龙. 南京长江第四大桥南锚碇基础地下连续墙施工[J]. 桥梁建设, 2010(6):77-79,83.
- YANG Fengju, NIU Xiaolong. Construction of underground diaphragm wall for south anchorage foundation of the 4th Nanjing Changjiang River Bridge[J]. Bridge Construction, 2010(6):77-79,83.
- [10] 李杲杲. 双轮铣槽机在地下连续墙施工的应用[J]. 中国西部科技, 2010,9(8):17-19.
- LI Gaogao. Hydraulic Double-wheel slot milling machine in construction of underground continuous walls. technology of highway and transport [J]. Science and Technology of West China, 2010,9(8):17-19.
- [11] 缪绍勇, 王国庆, 严融. 嵌岩式地下连续墙施工的研究与实践[J]. 建筑施工, 2005(7):4-7.
- MIU Shaoyong, WANG Guoqing, YAN Rong. Research and Practice on construction of rock-embedded underground continuous diaphragm[J]. Building Construction, 2005(7):4-7.
- [12] 李有道, 许丹, 王强, 等. 极硬岩地层地下连续墙双轮铣快速成槽技术[J]. 施工技术, 2018,47(S4):1463-1465.
- LI Youdao, XU Dan, WANG Qiang, et al. Rapid trenching technology of double wheel trench in the extremely hard rock underground diaphragm wall [J]. Construction Technology, 2018,47(S4):1463-1465.
- [13] 詹涛, 杨春勃, 安斌. 在泥质粉砂岩地层中采用双轮铣快速成槽施工技术[J]. 隧道建设(中英文), 2018,38(12):2019-2025.
- ZHAN Tao, YANG Chunbo, AN Bin. Rapid grooving technology of double-wheel trench cutter used in argillaceous siltstone stratum [J]. Tunnel Construction, 2018,38(12):2019-2025.
- [14] 杨武厂. 硬岩地层中地下连续墙成槽方法研究[J]. 施工技术, 2018,47(S1):7-10.
- YANG Wuchang. Study on slotting method of underground continuous wall in hard rock stratum [J]. Construction Technology, 2018,47(S1):7-10.
- [15] 张继光, 贾学强, 苏陈, 等. 旋挖钻机在特殊工况中的减压钻进研究[J]. 钻探工程, 2021,48(6):109-112.
- ZHANG Jiguang, JIA Xueqiang, SU Chen, et al. Rotary drilling with reduced WOB under special working conditions [J]. Drilling Engineering, 2021,48(6):109-112.
- [16] 贾学强, 苏伟, 丁洪亮, 等. 提高连续墙抓斗入岩效率若干问题的探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015,42(10):59-62.
- JIA Xueqiang, SU WEI, DING Hongliang, et al. Rotary drilling with reduced WOB under special working conditions [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015,42(10):59-62.

(编辑 王文)